

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 07-276273  
(43)Date of publication of application : 24.10.1995

(51)Int.Cl. B25J 9/10  
B25J 17/00

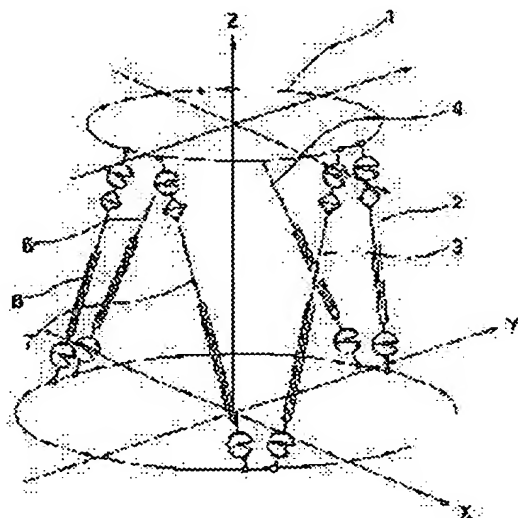
(21)Application number : 06-072320 (71)Applicant : NIPPON STEEL CORP  
(22)Date of filing : 11.04.1994 (72)Inventor : NAKAMURA YOJI  
SUMI MASANOBU  
MARUMOTO SEIICHI

## (54) DEFLECTION CORRECTION CONTROL METHOD FOR PARALLEL LINK MANIPULATOR

### (57)Abstract:

**PURPOSE:** To make accurate orbit follow-up and precise positioning possible by using a rigidity computing method for respective driving links of a manipulator and a deflection computing system for the whole manipulator obtained from the kinematics of a robot, obtaining a deflection quantity due to external force in a real time, and setting a link length set value.

**CONSTITUTION:** In a control method of a parallel link manipulator in which the length of each driving link 2-7 is controlled so as to move the manipulator, the whole rigidity matrix is computed from the rigidity matrix of each driving link 2-7 and the Jacobian matrix showing present position and posture of the manipulator. Simultaneously external force at the fingers 1 of the manipulator is detected, and the deflection quantity of the present position and posture of the manipulator is computed from the detected value and the whole rigidity matrix. The value that this deflection value is added to the set value of next target position and posture, is set as a real set value, and the driving link length is obtained from the real set value and the Jacobian matrix, so as to control the each driving link.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 07.09.2000  
[Date of sending the examiner's decision of rejection]  
[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]  
[Date of final disposal for application]  
[Patent number] 3380327  
[Date of registration] 13.12.2002  
[Number of appeal against examiner's decision of rejection]  
[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]  
[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-276273

(43) 公開日 平成7年(1995)10月24日

(51) Int. CL<sup>6</sup>

B 2 5 J 9/10  
17/00

識別記号

A  
K

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願平6-72320

(22) 出願日 平成6年(1994)4月11日

(71) 出願人 000006655

新日本製鐵株式会社

東京都千代田区大手町2丁目6番3号

(72) 発明者 中村 洋二

千葉県富津市新富20-1 新日本製鐵株式  
会社技術開発本部内

(72) 発明者 角 正伸

千葉県富津市新富20-1 新日本製鐵株式  
会社技術開発本部内

(72) 発明者 丸元 清一

千葉県富津市新富20-1 新日本製鐵株式  
会社技術開発本部内

(74) 代理人 弁理士 矢野 知之 (外1名)

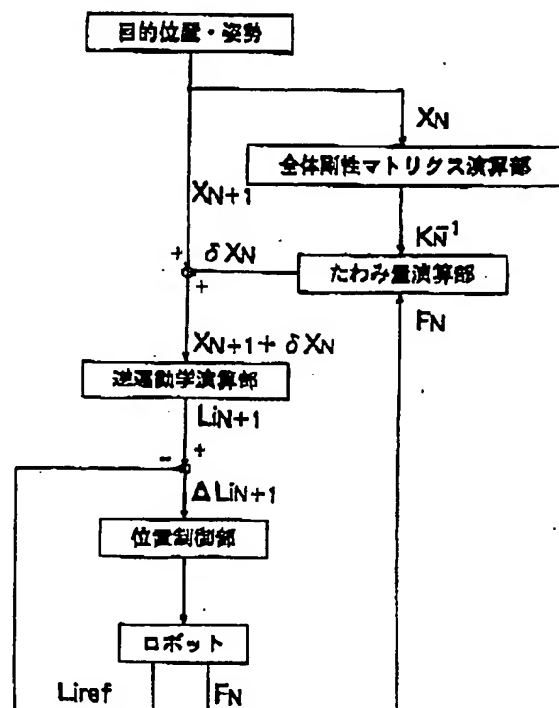
(54) 【発明の名称】 パラレルリンクマニピュレータのたわみ補正制御方法

(57) 【要約】

【目的】 本発明はパラレルリンクマニピュレータにおいて、高精度な軌道追従と位置決め精度を可能にするたわみ補正方法を提供する。

【構成】 パラレルリンクマニピュレータの各駆動リンクの剛性演算法、及びこの方法と従来知られているロボットの運動学により得られるパラレルリンクマニピュレータ全体のたわみ演算方式を用いて、実時間で外力によるたわみ量を求め、このたわみ量を加えたリンク長設定値を真の設定値とするたわみ補正方法。

10



1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 各駆動リンクの長さを制御してマニピュレータの移動を行うパラレルリンクマニピュレータの制御方法において、各駆動リンクの剛性マトリクスとパラレルリンクマニピュレータの現在の位置・姿勢を表すヤコビアンマトリクスから全体剛性マトリクスを計算し、同時にマニピュレータの手先における現在の外力を検出し、次に該検出値及び前記全体剛性マトリクスより現在のマニピュレータの位置・姿勢のたわみ量を演算し、該たわみ量を予め与えられたマニピュレータの次の目標位置・姿勢の設定値に加えた値を真の設定値とし、該真の設定値とヤコビアンマトリクスからマニピュレータの次の目標位置・姿勢を実現する駆動リンク長を求め、該駆動リンク長を駆動リンク長の設定値とすることを特徴とするパラレルリンクマニピュレータのたわみ補正制御方法。

【請求項2】 各駆動リンクの長さを制御してマニピュレータの移動を行うパラレルリンクマニピュレータの制御方法において、各駆動リンクの剛性マトリクスとパラレルリンクマニピュレータの現在の位置・姿勢を表すヤコビアンマトリクスから全体剛性マトリクスを計算し、同時にマニピュレータの手先における現在の外力を検出し、次に該検出値、ヤコビアンマトリクス及び全体剛性マトリクスより現在の各駆動リンクのリンク長さの微小変化量を演算し、該微小変化量をたわみ補正值として予め与えられた次の各駆動リンク長さの設定値に加えた値を真の設定値とすることを特徴とするパラレルリンクマニピュレータのたわみ補正制御方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明はパラレルリンクマニピュレータにおいて、組立作業のような重量物の把持や、外部との接触による外力を受けながらの高精度な軌道追従と位置決め精度を必要とする作業等に利用できる、パラレルリンクマニピュレータのたわみ補正方法に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】 従来の剛性解析は例えば有限要素法のように、モデルを各要素に分割し、外力による各接点の変化量を演算するため、剛性マトリクスが大きくなり、実時間での演算処理ができなかった。

【0003】 また、従来のロボットアームのたわみ補正方法は、特開昭62-157790号公報に見られるようなティーチングプレイバック式のロボットに関して、各ティーチングポイントにおけるたわみ量を予め算出しテーブル化しておき、このデータを用いて各ティーチングポイントにおけるロボットのたわみ量を補正するものであり、この方法では動作が複雑でティーチングポイントが多い場合など、多くの点におけるたわみ量データの記憶が必要であり、膨大なc p uメモリが必要となる。

2

【0004】 また、この方法では各ティーチングポイントでのたわみ量の補正は行えるが、各ティーチングポイント間の軌道上でのたわみ補正が行えず、ロボットは目標軌道とは異なった軌道上を移動することとなる。

【0005】 更にロボットを遠隔操作する場合、ロボットの動きはティーチングプレイバックロボットのような単純な繰り返し動作ではなく、ロボットの動作範囲内を任意の位置・姿勢で動くため、軌道上で正確な位置や姿勢が必要な場合、全てのポイントでのたわみ量を演算しておく必要があり、また、全てのポイントでたわみ補正を行うには、制御中の実時間でたわみ量演算が必要であるため、従来のロボットアームのたわみ補正方法の適用が不可能である。

## 【0006】

【発明が解決しようとする課題】 本発明はパラレルリンクマニピュレータの各駆動リンクの剛性演算方法、及びこの方法と従来知られているロボットの運動学により得られるパラレルリンクマニピュレータ全体のたわみ演算式を用いて、実時間で外力によるたわみ量を演算することにより、任意の軌道上におけるパラレルリンクマニピュレータのたわみを補正する方法を提供することを目的とする。

## 【0007】

【課題を解決するための手段】 本発明の要旨とするところは、(1) 各駆動リンクの長さを制御してマニピュレータの移動を行うパラレルリンクマニピュレータの制御方法において、各駆動リンクの剛性マトリクスとパラレルリンクマニピュレータの現在の位置・姿勢を表すヤコビアンマトリクスから全体剛性マトリクスを計算し、同時にマニピュレータの手先における現在の外力を検出し、次に該検出値及び前記全体剛性マトリクスより現在のマニピュレータの位置・姿勢のたわみ量を演算し、該たわみ量を予め与えられたマニピュレータの次の目標位置・姿勢の設定値に加えた値を真の設定値とし、該真の設定値とヤコビアンマトリクスからマニピュレータの次の目標位置・姿勢を実現する駆動リンク長を求め、該駆動リンク長を駆動リンク長の設定値とすることを特徴とするパラレルリンクマニピュレータのたわみ補正制御方法である。また、(2) 各駆動リンクの長さを制御してマニピュレータの移動を行うパラレルリンクマニピュレータの制御方法において、各駆動リンクの剛性マトリクスとパラレルリンクマニピュレータの現在の位置・姿勢を表すヤコビアンマトリクスから全体剛性マトリクスを計算し、同時にマニピュレータの手先における現在の外力を検出し、次に該検出値、ヤコビアンマトリクス及び全体剛性マトリクスより現在の各駆動リンクのリンク長さの微小変化量を演算し、該微小変化量をたわみ補正值として予め与えられた次の各駆動リンク長さの設定値に加えた値を真の設定値とすることを特徴とするパラレルリンクマニピュレータのたわみ補正制御方法である。

3

## 【0008】

【作用】本発明の作用を図4に示すパラレルリンクマニピュレータを用いた実施例に基づいて説明する。図3及び図4に示すようにパラレルリンクマニピュレータの各駆動リンクの剛性は駆動リンクを構成する要素の剛性による直列バネ構造となっており、その中の各要素の剛性は駆動リンクの長さに関わらず常に一定となるものと、駆動リンクの長さの変化に伴い、剛性が変化するものがある。

【0009】例えば、図3の(b)に示した直動駆動リンクの場合には、剛性が一定の要素である、ジョイント

$$1/K_i = 1/K_{j1} + 1/K_{j2} + 1/K_s + 1/K_l \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$1/\beta = 1/K_{j1} + 1/K_{j2} + 1/K_s \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$K_l = \alpha/L_i \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$K_i = (\alpha\beta) / (\alpha + \beta L_i) \quad \dots\dots\dots (4)$$

【0011】また、各駆動リンクに加わる外力 ( $T_1 \sim T_6$ ) のマトリクス  $[T]$  と各駆動リンクの長さ ( $L_i$ ) からの長さの微小変化量 ( $\delta L_1 \sim \delta L_6$ ) のマトリクス  $[\delta L_i]$  の関係は、(4) 式で得られた各リンク剛性

$$[T] = [K_i] [\delta L_i]$$

$$\begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \\ T_5 \\ T_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & K_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & K_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & K_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & K_5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & K_6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta L_1 \\ \delta L_2 \\ \delta L_3 \\ \delta L_4 \\ \delta L_5 \\ \delta L_6 \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots (5)$$

【0012】次に、従来知られているロボットの幾何学的特徴を表す運動学式は (7) ~ (10) 式となり、

(7), (8) 式はパラレルリンクマニピュレータの手先の各軸方向への微小変化 ( $\delta x, \delta y, \delta z$ ) と各軸まわりの微小回転変化 ( $\delta \phi x, \delta \phi y, \delta \phi z$ ) で表される手先微小変化マトリクス  $[\delta X]$  と、各駆動リンクの長さの微小変化 ( $\delta L_1 \sim \delta L_6$ ) のマトリクス  $[\delta L_i]$  の関係式であり、ロボットの位置・姿勢によって決定される従来知られている 6 行 6 列ヤコビアンマトリ

4

剛性 ( $K_{j1}, K_{j2}$ )、シリンダ剛性 ( $K_s$ ) と剛性が駆動リンクの長さ ( $L_i$ ) に関連するシャフト剛性 ( $K_l$ ) があり、駆動リンク全体の剛性 ( $K_i$ ) は直列バネの式 (1) で表される。

【0010】また、ジョイント剛性 ( $K_{j1}, K_{j2}$ ) とシリンダ剛性 ( $K_s$ ) を予め求め、式 (2) により定数  $\beta$  を算出しておき、更に駆動リンクの長さ ( $L_i$ ) に関連するシャフト剛性 ( $K_l$ ) は式 (3) で表され、その係数  $\alpha$  を算出しておくことにより、駆動リンク剛性 ( $K_i$ ) は

(4) 式のように定数  $\alpha, \beta$  及び駆動リンクの長さ ( $L_i$ ) により求められる。

( $K_i$ ) による対角マトリクス  $[K_i]$  を用いて、(5) 式で表される。

【数1】

$$\dots\dots\dots (5)$$

クス  $[J]$  によって表される。

【0013】また、(9), (10) 式はパラレルリンクマニピュレータの各駆動リンクの発生力 ( $T_1 \sim T_6$ ) のマトリクス  $[T]$  と、手先での出力 ( $F_x, F_y, F_z, M_x, M_y, M_z$ ) のマトリクス  $[F]$  の関係式であり、ヤコビアンマトリクスの転置マトリクス  $[J]^T$  で表される。

【数2】

$$\begin{matrix} 5 \\ [\delta L1] = [J] [\delta X] \end{matrix} \quad \begin{matrix} 6 \\ \dots\dots\dots (7) \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} \begin{bmatrix} \delta L1 \\ \delta L2 \\ \delta L3 \\ \delta L4 \\ \delta L5 \\ \delta L6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \\ \\ J \\ \\ \\ \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta X \\ \delta Y \\ \delta Z \\ \delta \phi X \\ \delta \phi Y \\ \delta \phi Z \end{bmatrix} \\ \dots\dots\dots (8) \end{matrix}$$

$$[F] = [J]^T [T] \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$\begin{matrix} \begin{bmatrix} Fx \\ Fy \\ Fz \\ Mx \\ My \\ Mz \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \\ \\ J \\ \\ \\ \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} T1 \\ T2 \\ T3 \\ T4 \\ T5 \\ T6 \end{bmatrix} \\ \dots\dots\dots (10) \end{matrix}$$

【0014】以上の(5)式～(10)式により、パラレルリンクマニピュレータの全体たわみ式、つまり手先に加わる外力[F]と、手先のたわみ量( $\delta x$ ,  $\delta y$ ,  $\delta z$ ,  $\delta \phi x$ ,  $\delta \phi y$ ,  $\delta \phi z$ )のマトリクス[ $\delta X$ ] 20

$$[F] = [J]^T [Ki] [J] [\delta X] \quad \dots\dots\dots (11)$$

【0015】また、(11)式からパラレルリンクマニピュレータの全体剛性マトリクスは(12)式のようにパラレルリンクマニピュレータの位置・姿勢から得られ

$$[K] = [J]^T [Ki] [J] \quad \dots\dots\dots (12)$$

【0016】具体的なパラレルリンクマニピュレータのたわみ補正方法は図1に示すように、まず、全体剛性マトリクス演算部においてパラレルリンクマニピュレータ手先の軌道中のN番目の目標とする位置姿勢( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ,  $\phi x$ ,  $\phi y$ ,  $\phi z$ )<sub>N</sub>のマトリクス[ $X_N$ ]を用い 30 て、ヤコビアンマトリクス[ $J_N$ ]を演算し、また予め求めておいた各駆動リンク剛性(K1～K6)のマトリクス[Ki]により、(12)式を用いてパラレルリンクマニピュレータの全体剛性マトリクスの逆マトリクス[K<sub>N</sub>]<sup>-1</sup>を演算する。

【0017】また、パラレルリンクマニピュレータの手先または各駆動リンクに取り付けた外力検出器により、パラレルリンクマニピュレータの手先に加わる外力(F<sub>x</sub>, F<sub>y</sub>, F<sub>z</sub>, M<sub>x</sub>, M<sub>y</sub>, M<sub>z</sub>)<sub>N</sub>のマトリクス

[F<sub>N</sub>]を求め、たわみ量演算部において前述のパラレ 40 ルリンクマニピュレータ全体剛性マトリクスの逆マトリクス[K<sub>N</sub>]<sup>-1</sup>と、パラレルリンクマニピュレータ手先に加わる外力マトリクス[F<sub>N</sub>]により(11)式を用いてパラレルリンクマニピュレータの外力[F<sub>N</sub>]による手先のたわみ量( $\delta x$ ,  $\delta y$ ,  $\delta z$ ,  $\delta \phi x$ ,  $\delta \phi y$ ,  $\delta \phi z$ )<sub>N</sub>のマトリクス[ $\delta X_N$ ]を演算する。

【0018】このパラレルリンクマニピュレータ手先のたわみ量[ $\delta X_N$ ]を次の(N+1番目の)目標位置・姿勢[X<sub>N+1</sub>]に加え、新たな目標位置・姿勢[X<sub>N+1</sub> +  $\delta X_N$ ]とし、これを通常の位置制御系に適用する。 50

の関係は、各駆動リンク剛性マトリクス[Ki]及びヤコビアンマトリクス[J]を用いて(11)式で表される。

るヤコビアンマトリクス[J]と、各駆動リンクの剛性マトリクス[Ki]により表される。

【0019】以上の操作によりパラレルリンクマニピュレータに加わる外力[F]によるパラレルリンクマニピュレータのたわみ量[ $\delta X$ ]を補正した軌道制御が行え、更に本操作は6行8列のマトリクス演算のため、制御中の実時間での制御が可能となる。

【0020】また、他の方法では図2に示すように、まず全体剛性マトリクス演算部においてパラレルリンクマニピュレータ手先の軌道中のN番目の目標とする位置姿勢( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ,  $\phi x$ ,  $\phi y$ ,  $\phi z$ )<sub>N</sub> [X<sub>N</sub>]を用いて、ヤコビアンマトリクス[J<sub>N</sub>]を演算し、また、予め求めておいた各駆動リンク剛性(K1～K6)のマトリクス[Ki]により(12)式を用いてパラレルリンクマニピュレータの全体剛性マトリクスの逆マトリクス[K<sub>N</sub>]<sup>-1</sup>を演算する。

【0021】また、パラレルリンクマニピュレータの手先または各駆動リンクに取り付けた外力検出器によりパラレルリンクマニピュレータの手先に加わる外力(F<sub>x</sub>, F<sub>y</sub>, F<sub>z</sub>, M<sub>x</sub>, M<sub>y</sub>, M<sub>z</sub>)<sub>N</sub>のマトリクス[F<sub>N</sub>]を求め、たわみ量演算部において前述のパラレルリンクマニピュレータ全体剛性マトリクスの逆マトリクス[K<sub>N</sub>]<sup>-1</sup>及びヤコビアンマトリクス[J<sub>N</sub>]と、パラレルリンクマニピュレータ手先に加わる外力マトリクス[F<sub>N</sub>]により(13)式を用いてパラレルリンクマニピュレータの外力[F<sub>N</sub>]による各駆動リンクのたわみ量( $\delta L1 \sim \delta L6$ )のマトリクス[ $\delta Li_N$ ]を演

7

算する。

$$[\delta Li_N] = [J_N] [K_N]^{-1} [F_N] \dots\dots\dots (13)$$

【0022】このパラレルリンクマニピュレータ各駆動リンクのたわみ量 $[\delta Li_N]$ を通常的位置制御系中で演算するマニピュレータ手先の次の $(N+1)$ 番目の目標位置・姿勢を実現する目標駆動リンク長 $[Li_{N+1}]$ に加え、新たな目標駆動リンク長 $[Li_{N+1} + \delta Li_N]$ とする。

【0023】以上の操作によりパラレルリンクマニピュレータに加わる外力 $[F]$ によるパラレルリンクマニピュレータの駆動リンクのたわみ量 $[\delta Li]$ を補正することによる高精度な軌道制御が行え、更に本操作は6行6列のマトリクス演算のため、制御中の実時間での制御が可能となる。

【0024】

【発明の効果】本発明によれば外力によるロボットのたわみ補正がリアルタイムに実行でき、重量物の把持や接

8

触による外力を受けながらの高精度な軌道制御が可能となり、より精密な作業が行える。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係るたわみ補正制御フローの一例を示す図。

【図2】本発明に係るたわみ補正制御フローの他の例を示す図。

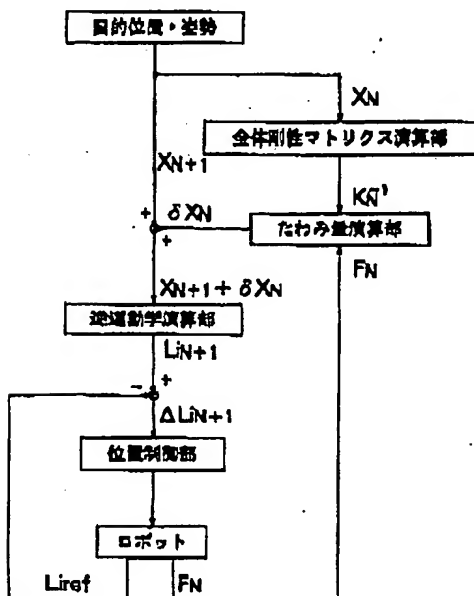
【図3】駆動リンク概略図。

【図4】パラレルリンクマニピュレータ概略図。

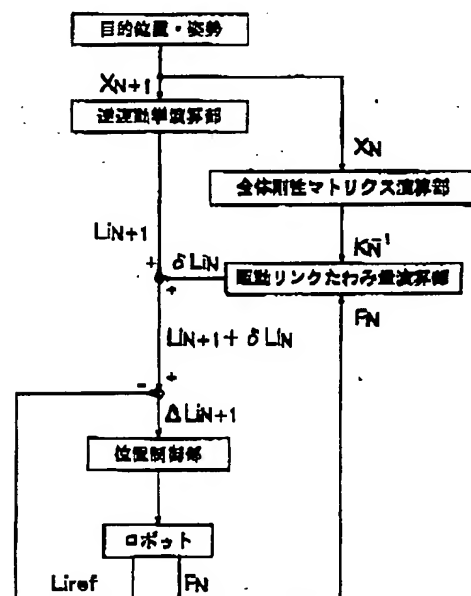
【符号の説明】

- 1     ロボット手先
- 2～7   直動タイプ駆動リンク
- 8     ユニバーサルジョイント
- 9     駆動モータ
- 10    直動シリンダ

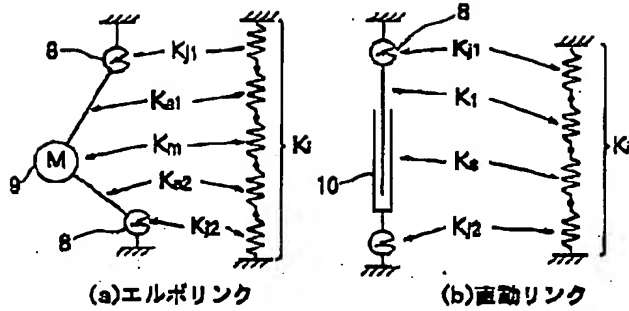
【図1】



【図2】



【図3】



$K_{s1}$	アーム1 曲げ剛性
$K_{s2}$	アーム2 曲げ剛性
$K_{s1}$	モータねじり剛性
$K_{s2}$	ユニバーサルジョイント1剛性
$K_{s1}$	ユニバーサルジョイント2剛性
$K_{s2}$	シリンダ引張り圧縮剛性
$K_1$	直動リンクシャフト引張り圧縮剛性

【図4】

